УДК 625.032.354.1

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АВТОМОБИЛЯ И ДОРОГИ

В.А. Осиновская

Брянская государственная инженерно-технологическая академия
E-mail: onika44@mail.ru

Излагаются основные принципы формирования механико-математической модели, имитирующей процесс вертикальных колебаний общей механической системы «автомобиль-дорога». Представлен образец такой модели.

При проектировании автомобильных дорог прочностные расчеты ведут по допускаемому упругому прогибу [1]. Для этого используется условная двухслойная модель, получаемая из первичной многослойной, с учетом принципа последовательной цепочки модулей упругости слоев, воспринимающая расчетное число приложений расчетной статической нагрузки за срок службы конструкции от предполагаемого состава автомобильного потока. Введение поправочного динамического коэффициента, равного 1,3, учитывает динамический характер взаимодействия автомобиля и дороги.

Недостатки этой модели очевидны. Прежде всего, эта модель статическая и введение поправочного коэффициента не меняет этого положения и, следовательно, она не пригодна для теоретических исследований динамических процессов развивающихся в автомобильной дороге. Также преобразование многослойной конструкции дороги в упрощенную вряд ли допустимо при исследовании динамики объекта, представляющего собой многостепенную и многомассовую механическую систему, в которой формирование колебательных режимов напрямую связано с инерционными, жесткостными и диссипативными параметрами каждого слоя дорожной конструкции.

В статье [2] предложены так называемая упрощенная модель «дорожная конструкция-грунт» и

пространственная модель. В упрощенной модели, сформированной по тому же принципу, что и двухслойная модель, а именно, дорожная конструкция представляется единым однослойным объектом, отличие состоит в том, что здесь модель динамическая со всеми ее характерными параметрами (массой, жесткостью и вязкостью). Однако данная модель с точки зрения динамики слишком далека от реального объекта. Экспериментальные исследования показывают, что в амплитудно-частотном спектре (ошибочно называемом авторами амплитудно-частотной характеристикой) присутствуют несколько резонансных зон. Упрощенная модель реализует только один резонансный режим, который можно искусственно подогнать под один из экспериментальных резонансов, варьируя на модели уровнями динамической изгибной жесткости и приведенной массы. Ясно, что эти жесткостные и инерционные параметры будут иметь мало общего с реальными для дорожной конструкции, тем более, что автомобильная дорога не совершает колебания как один общий объект, а каждый дорожный слой формирует свои колебательные процессы, находясь в динамическом взаимодействии друг с другом.

Представляется также ошибочным исключение из модели автомобиля, который, являясь возбудителем колебаний дороги, участвует в общем колебательном процессе механической системы «автомобиль-дорога», вибрационные уровни и частотный спектр формируются у этих двух объектов системы только совместно и за счет взаимовлияния.

Использование пространственной модели целесообразно при изучении процессов распространения упругих волн напряжений и деформаций в горизонтальной плоскости, которые следует рассматривать как побочный эффект вертикальных упругих деформаций, так как автомобиль практически имеет мало источников, вызывающих горизонтальную вибрацию, исключая такую дорожную неровность, как колейность. Эти процессы, подобные распространению волн сжатия-растяжения при землетрясениях, имеют иную природу и законы развития, чем вертикальная динамика взаимодействия автомобиля и дороги.

Следовательно, для реализации механико-математической модели взаимодействия автомобиля и дороги в вертикальной плоскости, описанные модели мало пригодны. При ее формировании следует учитывать следующее:

- автомобильная дорога, имеющая неровности на покрытии, возбуждает у автомобиля кинематические вынужденные колебания;
- автомобиль, как источник возмущения для автомобильной дороги, возбуждает в свою очередь в ней инерционные колебания;
- колебания автомобиля связаны как с геометрическими неровностями дорожного покрытия, которые имеют в целом всю совокупность возбудителей (периодических, квазипериодических, случайных и импульсных), так и с собственными параметрами (жесткостью и видом упругих элементов подвешивания, уровнем и типом диссипативных элементов и т. д.), а также с формируемым скоростным процессом движения, который может быть отнесен к псевдослучайному; весь этот спектр передается непосредственно на массу асфальтобетонного покрытия; возникающая при этом упругая деформация осуществляет кинематическую передачу возмущений нижележащим слоям;
- имеется большое количество как известных, так и не известных параметров, которые необходимо вводить в расчетные схемы, при этом они должны соответствовать уровням показателей для проектируемых и эксплуатируемых дорог; что касается не известных параметров, то до сих пор не определены реальные уровни диссипации в дорожных слоях и величины колеблющихся масс дорожных слоев, в тоже время жесткости этих слоев достаточно просто определяются из физических параметров или экспериментально.

На рисунке представлен образец модели «автомобиль-дорога», сформированный с учетом основных принципов.

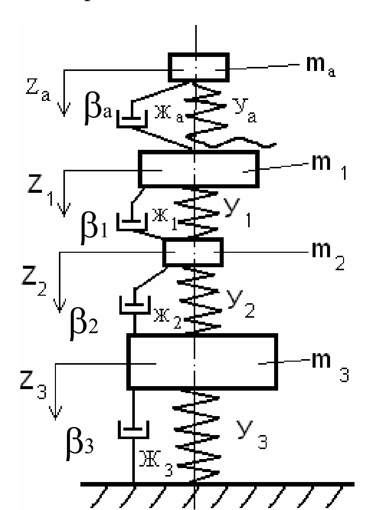


Рисунок. *Механико-математическая модель вынужденных вертикальных колебаний системы «автомобиль-дорога»*

В модели приняты следующие обозначения: m_a – подрессоренная масса автомобиля; $Ж_а$ – совокупная жесткость подвески автомобиля; β_a – совокупный коэффициент вязкого трения в подвеске автомобиля; Y_a – динамический прогиб подвески автомобиля; Z_a – координата вертикального перемещения подрессоренных масс автомобиля; h – дорожная неровность на поверхности асфальтобетонного покрытия; m_1, m_2, m_3 – массы асфальтобетонного слоя, щебня и песка соответственно; $Ж_1$, $Ж_2$, $Ж_3$ – жесткости тех же слоев; β_1, β_2, β_3 – коэффициенты вязкого трения тех же слоев; y_i – динамические прогибы в соответствующих дорожных слоях; z_i – динамические перемещения масс дорожных слоев.

Данная модель относится к одному из возможных вариантов конструкции дорожных одежд. Ее легко усовершенствовать и уточнить введением новых или дополнительных дорожных слоев. Например, если общий слой асфальтобетонного покрытия сформирован из высокоплотного материала и пористого, то вместо слоя с параметрами m_1, $Ж_1$, β_1 вводятся два отдельных слоя со своими параметрами и модель получает дополнительную степень свободы. Грунт в модели используется как опорный элемент, не участвующий в вертикальных колебаниях. Такое допущение возможно, так как, обладая неограниченностью в пространстве, он в основном участвует в процессе передачи колебательной энергии на расстояние в горизонтальной плоскости. Внутреннее трение в дорожных слоях, возникающее при их деформации, принимается эквивалентным вязкому трению, что позволяет исключить нелинейность и упростить расчеты. Такая методика широко применяется в теории механических колебаний. При этом трение между слоями, которое играет существенную роль при горизонтальном смещении, здесь не учитывается в связи с очевидной малостью. Все массы являются приведенными к колесу. Сама масса колеса, в виду ее малости по сравнению с другими массами, не учитывается, поэтому на схеме подвеска автомобиля опирается непосредственно на дорожную неровность, находящуюся на поверхности асфальтобетонного покрытия. Понятие приведенной массы соответствует принятому в теории колебаний, т. е. это масса объекта участвующая в процессе колебаний. Величины этих масс для каждого дорожного слоя определяются по специальной методике, которая базируется на выявлении резонансных зон при натурном экспериментировании. Отметим, что применение для этой цели общего амплитудно-частотного спектра, которым пользуются в работе [2], без его нормируемой статистической обработки [3] по 1/3 октавным полосам частот, не возможно.

Таким образом, представленные здесь принципы формирования динамических моделей взаимодействия автомобиля и дороги, позволяют реализовать механико-математическую модель, обладающую большими возможностями. Так как модель учитывает скоростной режим движения автомобиля или транспортного потока, что существенно приближает теоретические результаты к реальным; допускает введение дорожных неровностей любого вида и осуществляет варьирование физических параметров дорожных слоев, то ее можно рекомендовать использовать не только для изучения динамических процессов автомобиля и дороги, но и для оценки критических энергетических уровней, приводящих к разрушению элементов дорожной конструкции, а также для разработки мероприятий, снижающих эти уровни. Цикл теоретических исследований на подобной модели позволяет выявить оптимальные соотношения динамических параметров дорожных слоев, учет которых при проектировании, позволит повысить долговечность дороги и снизить эксплуатационные затраты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ОДН 218.046-01. Проектирование нежестких дорожных одежд. – М.: Информавтодор, 2001. – 116 с.
2. Илиополов С.К., Селезнев М.Г. Разработка математических моделей и исследование на их основе энергетических характеристик воздействия автотранспорта на дорожную конструкцию и распределение колебаний в элементах системы «дорожная конструкция-грунт» // Дороги России. – 2003. – № 8. – С. 49–51.
3. СН 2.2.4/2.1.8.566-96. Допустимые уровни вибрации на рабочих местах в помещениях жилых и общественных зданий. – М.: Стройиздат, 2003. – 18 с.